

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-185475

(43)Date of publication of application : 28.06.2002

(51)Int.Cl.

H04L 12/28

H04B 7/26

(21)Application number : 2001-325381

(71)Applicant : INTERNATL BUSINESS MACH
CORP <IBM>

(22)Date of filing : 23.10.2001

(72)Inventor : SHOREY RAJEEV
KUMAR APURVA
CHAKRABORTY INDRANEEL
KASHYAP ABHISHEK
RASTOGI ANUPAM
SARAN HUZUR

(30)Priority

Priority number : 2000 696556

Priority date : 25.10.2000

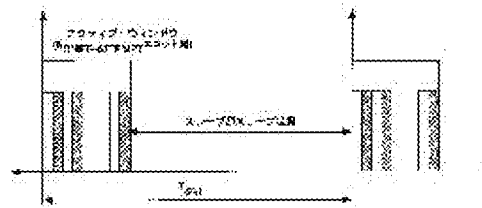
Priority country : US

(54) SYSTEM AND METHOD FOR MANAGING POWER CONSUMPTION WITH MASTER-DRIVEN TIME SHARING DOUBLE RADIO NETWORK AND COMPUTER PROGRAM PRODUCT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a system and method for managing power consumption with a master-driven time sharing double radio network using the Bluetooth, HomeRF, etc., using an adaptive probability based polling interval mechanism for discriminating the transition time frame of a device to a low-power mode.

SOLUTION: The system includes a means which maintains the service quality requisite of end-to-end packet delay by adjusting the polling interval of each slave in the low-power mode based on the incoming traffic to the slave and, at the same time, optimizes the power consumption.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-185475

(P2002-185475A)

(43) 公開日 平成14年6月28日 (2002.6.28)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 4 L 12/28	3 0 0	H 0 4 L 12/28	3 0 0 Z 5 K 0 3 3
	3 0 3		3 0 3 5 K 0 6 7
H 0 4 B 7/26		H 0 4 B 7/26	X

審査請求 有 請求項の数33 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2001-325381 (P2001-325381)

(22) 出願日 平成13年10月23日 (2001.10.23)

(31) 優先権主張番号 0 9 / 6 9 6 5 5 6

(32) 優先日 平成12年10月25日 (2000.10.25)

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 390009531

インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION

アメリカ合衆国10504, ニューヨーク州
アーモンク (番地なし)

(72) 発明者 ラジーヴ・ショーレイ

インド110 029 ニューデリー サープダル
ジュン・エンクレープ ビー2-149

(74) 代理人 100086243

弁理士 坂口 博 (外2名)

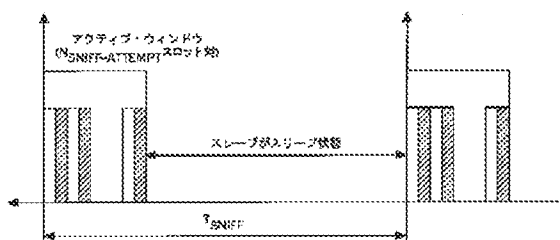
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マスタ駆動時分割二重無線ネットワークで電力消費を管理するシステム、方法およびコンピュータ・プログラム製品

(57) 【要約】

【課題】 マスタ駆動時分割二重無線ネットワークで電力消費を管理するシステム、方法およびコンピュータ・プログラム製品を提供すること。

【解決手段】 本発明は、スレープでの着信トラフィックに基づいて低電力モードの各スレープのポーリング間隔を調整することによって、end-to-endパケット遅延のサービス品質要件を維持すると同時に電力消費を最適化する手段を含む、マスタ駆動時分割二重無線ネットワークで電力消費を管理するシステムおよび方法に関する。本発明は、上の方法を実行するように構成されたコンピュータ・プログラム製品も提供する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 マスタ駆動時分割二重無線ネットワークで電力消費を管理するシステムであって、スレープでの着信トラフィックに基づいて低電力モードの各スレープのポーリング間隔を調整することによって、end-to-endパケット遅延のサービス品質要件を維持すると同時に電力消費を最適化する手段を含む、システム。

【請求項2】 前記手段が、低電力モードの各スレープ・デバイスの前記ポーリング間隔を調整する適応確率ベース・ポーリング間隔（A P P I）機構を含む、請求項1

に記載のシステム。
【請求項3】 前記ポーリング間隔を調整する前記機構が、各スレープでの次のパケットの期待される到着時間を、そのスレープで前に受信されたパケットの到着間時間の分布に基づいて予測する手段を含む、請求項2に記載のシステム。

【請求項4】 前記期待される到着時間を予測する前記手段が、到着間時間の特定の範囲に各スレープに到着するデータ・バーストの数を学習する手段と、各スレープでのトラフィック分布の確率密度関数を推定する手段と、発生する確率が定義済みの閾値を超える、各スレープでの次のデータ・バーストの到着の期待される時間間隔を判定する手段とを含む、請求項3に記載のシステム。

【請求項5】 前記データ・バーストの数を学習する前記手段が、到着間時間の特定の範囲に到着するデータ・バーストを受信し、前記受信したデータ・バーストの数を前記到着間範囲に対応する項目に保管する手段による、請求項4に記載のシステム。

【請求項6】 前記確率密度関数を推定する前記手段が、異なる到着間時間持続時間に関するデータ・パケットの分布を分析する機構による、請求項4に記載のシステム。

【請求項7】 定義済みの閾値確率に関する前記期待される時間間隔を判定する前記手段が、

【数1】

$$P(t) = \sum_{i=0}^{T_{AS}} H(x) \leq P_{AS}$$

によって記述され、ここで、

$P(t)$ が、パケットの到着の確率であり、
 T_{AS} が、到着間時間であり、
 P_{AS} が、閾値確率であり、
 $H(x)$ が、観察の総数によって正規化された、各到着間期間の観察された到着間時間の数を記述する関数である請求項4に記載のシステム。

【請求項8】 スレープが、条件

$$\begin{aligned} & (T_{AS} - (T_{AS} / \text{deadline})) \times P_{RECEIVE} + \\ & (T_{AS} / \text{deadline}) \times P_{TRANSMIT} - T_{AS} \times P_{LOW POWER} > P_{OVERHEAD} \end{aligned}$$

に基づいてアクティブ・モードから低電力モードに切り替えられ、ここで、

T_{AS} が、期待される到着間時間であり、
 Deadline が、アクティブ・モードのスレープに関するサービスの期限であり、

$P_{RECEIVE}$ が、受信されたモードでの電力であり、

$P_{LOW POWER}$ が、低電力モードでの電力であり、

$P_{TRANSMIT}$ が、送信モードでの電力であり、

$P_{OVERHEAD}$ が、接続を低電力モードにし、アクティブ・モードに戻すことの電力オーバーヘッドである請求項2に記載のシステム。

【請求項9】 低電力モードでの前記ポーリング間隔を調整する前記機構が、遅延されたパケットの接続の許容度に基づき、

【数2】

$$P(t) = \sum_{i=0}^{T_b} H(x) \leq P_B$$

によって定義され、ここで、

$P(t)$ が、パケットの到着の確率であり、

20 T_b が、低電力モードのスレープのポーリング間隔であり、

P_B が、遅延されたパケットの接続の許容度を反映する確率であり、

$H(x)$ が、観察の総数によって正規化された、各到着間期間の観察された到着間時間の数を定義する関数である請求項2に記載のシステム。

【請求項10】 スレープが、条件

$$(b-1) \times T_{LOW POWER} > d$$

に基づいて低電力モードからアクティブ・モードに切り替えられ、ここで、

b = 測定されたバースト長

$T_{LOW POWER}$ = 低電力モードである時間

d = 最後のパケットの推定された最大遅延

である、請求項2に記載のシステム。

【請求項11】 前記マスタ駆動時分割二重無線ネットワークが、前記低電力モードが「スニフ」モードに対応するBluetoothネットワークである、請求項1に記載のシステム。

【請求項12】 マスタ駆動時分割二重無線ネットワークで電力消費を管理する方法であって、スレープでの着信トラフィックに基づいて各スレープのポーリング間隔を調整することによって、end-to-endパケット遅延のサービス品質要件を維持すると同時に電力消費を最適化するステップを含む、方法。

【請求項13】 前記ポーリング間隔を調整する前記ステップが、各スレープ・デバイスの前記ポーリング間隔を調整する適応確率ベース・ポーリング間隔（A P P I）方法を含む、請求項12に記載の方法。

【請求項14】 前記ポーリング間隔を調整する前記ステップが、各スレープでの次のパケットの期待される到着

時間を、そのスレーブの前のパケットの到着間時間の分布に基づいて予測するステップを含む、請求項13に記載の方法。

【請求項15】前記期待される到着時間を予測するステップが、
到着間時間の特定の範囲に各スレーブに到着するデータ・バーストの数を学習するステップと、
各スレーブでのトラフィック分布の確率密度関数を推定するステップと、
発生確率が定義済みの閾値を超える、各スレーブでの次のデータ・バーストの到着の期待される時間間隔を判定するステップとを含む、請求項14に記載の方法。

【請求項16】前記データ・バーストの数を学習する前記ステップが、到着間時間の特定の範囲に到着するデータ・バースト数を前記到着間範囲に対応する項目に保管する記憶方法による、請求項15に記載の方法。

【請求項17】前記確率密度関数を推定する前記ステップが、異なる到着間時間持続時間に関するデータ・パケットの分布を分析するステップによる、請求項15に記載の方法。

【請求項18】定義済みの閾値確率に関する前記期待される時間間隔を判定する前記ステップが、

【数3】

$$P(t) = \sum_{i=0}^{T_{AS}} H(x) \leq P_{AS}$$

により定義され、ここで、

$P(t)$ が、パケットの到着の確率であり、

T_{AS} が、到着間時間であり、

P_{AS} が、閾値確率であり、

$H(x)$ が、観察の総数によって正規化された、各到着間期間の観察された到着間時間の数を記述する関数である請求項15に記載の方法。

【請求項19】前記期待される時間間隔を判定するステップが、

$$\begin{aligned} & (T_{AS} - (T_{AS} / \text{deadline})) \times P_{RECEIVE} + \\ & (T_{AS} / \text{deadline}) \times P_{TRANSMIT} - T_{AS} \times P_{LOW POWER} > P_{OVERHEAD} \end{aligned}$$

により、ここで、

T_{AS} が、期待される到着間時間であり、

Deadline が、アクティブ・モードのスレーブに関するサービスの期限であり、

$P_{RECEIVE}$ が、受信されたモードでの電力であり、

$P_{LOW POWER}$ が、低電力モードでの電力であり、

$P_{TRANSMIT}$ が、送信モードでの電力であり、

$P_{OVERHEAD}$ が、接続を低電力モードにし、アクティブ・モードに戻すことの電力オーバーヘッドである請求項14に記載の方法。

【請求項20】低電力モードでの前記ポーリング間隔を調整するための間隔が、遅延されたパケットの接続の許容度に基づき、

【数4】

$$P(t) = \sum_{i=0}^{T_P} H(x) \leq P_B$$

によって定義され、ここで、

$P(t)$ が、パケットの到着の確率であり、

T_P が、低電力モードのスレーブのポーリング間隔であり、

P_B が、遅延されたパケットの接続の許容度を反映する確率であり、

$H(x)$ が、観察の総数によって正規化された、各到着間期間の観察された到着間時間の数を定義する関数である請求項13に記載の方法。

【請求項21】スレーブが、条件

$$(b-1) \times T_{LOW POWER} > d$$

に基づいて低電力モードからアクティブ・モードに切り替えられ、ここで、

b = 測定されたバースト長

$T_{LOW POWER}$ = 低電力モードである時間

d = 最後のパケットの推定された最大遅延

である、請求項12に記載の方法。

【請求項22】前記マスタ駆動時分割二重無線ネットワークが、前記低電力モードが「スニフ」モードに対応するBluetoothネットワークである、請求項11に記載の方法。

【請求項23】マスタ駆動時分割二重無線ネットワークで電力消費を管理するコンピュータ可読記憶媒体に保管されたコンピュータ可読プログラム・コードを含むコンピュータ・プログラム製品であって、スレーブでの着信トラフィックに基づいて各スレーブのポーリング間隔を調整することによって、end-to-endパケット遅延のサービス品質要件を維持すると同時に電力消費を最適化するように構成されたコンピュータ可読プログラム・コード手段を含む、コンピュータ・プログラム製品。

【請求項24】前記構成されたコンピュータ可読プログラム・コード手段が、各スレーブ・デバイスの前記ポーリング間隔を調整する適応確率ベース・ポーリング間隔(A P P I)機構を含む、請求項23に記載のコンピュータ・プログラム製品。

【請求項25】前記ポーリング間隔を調整するように構成された前記コンピュータ可読プログラム・コード手段が、各スレーブでの次のパケットの期待される到着時間を、そのスレーブの前のパケットの到着間時間の分布に基づいて予測する機構を含む、請求項24に記載のコンピュータ・プログラム製品。

【請求項26】前記期待される到着時間を予測する前記機構が、

到着間時間の特定の範囲に各スレーブに到着するデータ・バーストの数を学習するように構成されたコンピュータ可読プログラム・コード手段と、

各スレーブでのトラフィック分布の確率密度関数を推定

するように構成されたコンピュータ可読プログラム・コード手段と、

発生の確率が定義済みの閾値を超える、各スレープでの次のデータ・バーストの到着の期待される時間間隔を判定するように構成されたコンピュータ可読プログラム・コード手段とを含む、請求項25に記載のコンピュータ・プログラム製品。

【請求項27】前記データ・バーストの数を学習するように構成された前記コンピュータ可読プログラム・コード手段が、到着間時間の特定の範囲に到着するデータ・バースト数を前記到着間範囲に対応する項目に保管する記憶手段による、請求項26に記載のコンピュータ・プログラム製品。

【請求項28】前記確率密度関数を推定する前記コンピュータ可読プログラム・コード手段が、異なる到着間時間持続時間に関するデータ・パケットの分布を分析する手段による、請求項26に記載のコンピュータ・プログラム製品。

【請求項29】定義済みの閾値確率に関する前記期待される時間間隔を推定するように構成された前記コンピュータ可読プログラム・コード手段が、

【数5】

$$P(t) \approx \sum_0^{T_{AS}} H(x) \leq P_{AS}$$

によって定義され、ここで、

$P(t)$ が、パケットの到着の確率であり、

T_{AS} が、到着間時間であり、

P_{AS} が、閾値確率であり、

$H(x)$ が、観察の総数によって正規化された、各到着間期間の観察された到着間時間の数を記述する関数である請求項24に記載のコンピュータ・プログラム製品。

【請求項30】前記期待される時間間隔を判定するように構成された前記コンピュータ可読プログラム・コード手段が、

$$\begin{aligned} & (T_{AS} - (T_{AS} / \text{deadline})) \times P_{RECEIVE} + \\ & (T_{AS} / \text{deadline}) \times P_{TRANSMIT} - T_{AS} \times P_{LOW POWER} > P_{OVERHEAD} \end{aligned}$$

によって定義され、ここで、

T_{AS} が、期待される到着間時間であり、

Deadline が、アクティブ・モードのスレープに関するサービスの期限であり、

$P_{RECEIVE}$ が、受信されたモードでの電力であり、

$P_{LOW POWER}$ が、低電力モードでの電力であり、

$P_{TRANSMIT}$ が、送信モードでの電力であり、

$P_{OVERHEAD}$ が、接続を低電力モードにし、アクティブ・モードに戻すことの電力オーバーヘッドである請求項25に記載のコンピュータ・プログラム製品。

【請求項31】低電力モードでの前記ポーリング間隔を調整するための間隔が、遅延されたパケットの接続の許容度に基づき、

【数6】

$$P(t) \approx \sum_0^{T_P} H(x) \leq P_B$$

によって定義され、ここで、

$P(t)$ が、パケットの到着の確率であり、

T_P が、低電力モードのスレープのポーリング間隔であり、

P_B が、遅延されたパケットの接続の許容度を反映する確率であり、

$H(x)$ が、観察の総数によって正規化された、各到着間期間の観察された到着間時間の数を定義する関数である請求項24に記載のコンピュータ・プログラム製品。

【請求項32】スレープが、条件

$$(b-1) \times T_{LOW POWER} > d$$

に基づいて低電力モードからアクティブ・モードに切り替えられ、ここで、

b = 測定されたバースト長

$T_{LOW POWER}$ = 低電力モードである時間

d = 最後のパケットの推定された最大遅延

である、請求項24に記載のコンピュータ・プログラム製品。

【請求項33】前記マスタ駆動時分割二重無線ネットワークが、前記低電力モードが「スニフ」モードに対応するBluetoothネットワークを含む、請求項23に記載のコンピュータ・プログラム製品。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、マスタ駆動時分割二重無線ネットワークでの電力消費管理のシステム、方法およびコンピュータ・プログラム製品を提供する。

【0002】

【従来の技術】モバイル・デバイスは、限られたバッテリー寿命のゆえに、計算および通信のためのエネルギーが限られている。モバイル・デバイスでのバッテリー電力の節約は、モバイル・ノードを有するネットワークのプロトコルを設計する際の重要な考慮事項である。この問題は、アプリケーション層を含む、プロトコル・スタックのすべての層を通じて考慮されなければならない。本発明は、メディア・アクセス制御(MAC)層でのバッテリー電力節約問題に対処する。

【0003】MAC関連アクティビティについて考慮されるモバイル・ユニット内のエネルギー消費の主な源は、CPU、送信器、および受信器である。モバイル・デバイスでのCPU使用量は、非常に複雑な計算(メディア・アクセス関連)のほとんどを静止ネットワークに追いやることによって減らすことができる。したがって、作業の焦点は、効率的なトランシーバ(すなわち送信器、受信器)使用になる。

【0004】無線機は、3つのモードすなわち、スタンバイ、受信、および送信で動作することができる。デバ

イスがデータを送受信できるモードを、アクティブ・モードと呼ぶ。一般に、無線機は、送信モードで受信モードより多くの電力を消費し、スタンバイ・モードでは最少の電力を消費する。

【0005】たとえば、GEC Plessey DE6003（参考文献1参照）2.4GHz無線機は、送信モードで1.8W、受信で0.6W、スタンバイ・モードで0.05Wを必要とする。また、Lucent社の15dBm 2.4GHz Wavelan無線機の電力消費は、送信モードで1.725W、受信モードで1.475W、スタンバイ・モードで0.08W（参考文献2参照）である。したがって、電力消費は、スタンバイ・モードではるかに低くなる。スケジューリング・アルゴリズムは、送受信するデータがないときにデバイスがスタンバイ・モードになるものとしなければならない。デバイスをスタンバイ・モードに切り替えることの制約は、end-to-end遅延が増える可能性があり、サービス品質（QoS）パラメータに違反する可能性があることである。したがって、スケジューリング・アルゴリズムは、end-to-end遅延がQoSパラメータに違反しないものとしなければならない。

【0006】さらに、アクティブ・モード（データを送受信できる時）からスタンバイ・モードへのデバイスの切替は、その切替に関して他のデバイスに通信しなければならないので、オーバーヘッドを有する。したがって、あるモードから別のモードへの頻繁な切替が、より多くの電力の消費につながる可能性がある。そのような遷移を最小にする必要から、デバイスが、切替の期待されるオーバーヘッドを判定し、スタンバイ・モードに切り替えることによって節約される電力と比較した後にスタンバイ・モードに移動することが要求される。したがって、デバイスがスタンバイ・モードに入る時は、そのデバイスに関する前のトラフィック到着パターンに基づき、その結果、end-to-end遅延がQoSパラメータを満足し、異なる電力モードの間の切替が頻繁でなくなるようにしなければならない。

【0007】無線ネットワークのデータ・トラフィックをスケジューリングする多数の手法が、以前に提案された。

【0008】米国特許第5274841号明細書に、複数セル無線ネットワーク内でモバイル・ユーザをポーリングする方法が記載されている。しかし、アップリンク無線通信が、TDMAではなくCSMAを使用して行われ、したがって、これは、マスタ駆動時分割二重無線システムに適用可能ではない。

【0009】米国特許第5506848号明細書に、対象のコミュニティでのモバイル・ユーザの需要割り当てのシステムおよび方法が記載されている。米国特許第5297144号明細書に、無線データ通信ネットワーク用の予約ベースのポーリング・プロトコルが記載されている。しかし、この両方の特許が、デバイスが送受信す

るデータを有しない時であっても「アクティブ」電力モードであるので、帯域幅および電力の浪費につながるので、中央駆動されるTDMA無線システムの限られた帯域幅のシナリオで実行可能ではないポリシーを使用する。

【0010】米国特許第4251865号明細書に、端末ユニットまたはスレーブが固定された順序でサービスされる二重通信リンクのポーリング・システムが記載されている。そのような分配では、各端末ユニットでの類似するトラフィック・モデルが仮定され、したがって、無線TDD MACシステムで使用可能な少ないリソースに関する電力および帯域幅の効率において満足なものではない。

【0011】米国特許第6016311号明細書には、非対称アップリンク／ダウンリンク帯域幅を前提とする動的帯域幅割り振り方式があるが、これは、スタンバイ・モードへのデバイスに切替に対処せず、電力の考慮が記載されていない。

【0012】技術論文「A comparison of MAC protocols for wireless local networks based on battery power consumption」（参考文献3参照）に、さまざまなMAC戦略に関するデバイスの電力消費が記載されているが、これは、パケット遅延を考慮に入れておらず、着信トラフィックに適応する電力最適化ポリシーに寄与しない。

【0013】米国特許出願第09/434583号明細書に、BluetoothでのMACスケジューリングが記載されているが、これは、電力消費を考慮せずに、Bluetoothピコネットでのフェアネスおよびスループットの問題を検討したものである。

【0014】米国特許出願第09/535920号明細書に、ポーリング・ベースのメディア・アクセス制御（MAC）でのサービス品質（QoS）制約を伴う接続の最適スケジューリングが記載されているが、これは、デバイスの電力消費を考慮していない。

【0015】上で示したように、上で述べた特許のいずれもが、無線システムの重要な考慮事項である電力最適化およびend-to-endパケット遅延を考慮していない。

【0016】「アクティブ」モードから「スタンバイ」モードへおよびその逆の遷移の判断基準が、従来技術では対処されていない。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、デバイスが低電力モードに移動する時間枠を判定するために適応確率ベース・ポーリング間隔（APPI：Adaptive Probability based Polling Interval）機構を使用する、BluetoothおよびHomeRFなどを使用するマスタ駆動時分割二重無線ネットワークで電力消費を管理するシステムおよび方法を提供することによって、上記の短所を除去することである。

【0018】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するために、本発明は、マスタ駆動時分割二重無線ネットワークで電力消費を管理するシステムであって、スレープでの着信トラフィックに基づいて低電力モードの各スレープのポーリング間隔を調整することによって、end-to-end・パケット遅延のサービス品質要件を維持すると同時に電力消費を最適化する手段を含む、システムを提供する。

【0019】前記手段には、低電力モードの各スレープ・デバイスのポーリング間隔を調整する適応確率ベース・ポーリング間隔（APPI）機構が含まれる。

【0020】ポーリング間隔を調整する前記機構には、各スレープでの次のパケットの期待される到着時間を、そのスレープで前に受信されたパケットの到着間時間の分布に基づいて予測する手段が含まれる。

【0021】期待される到着時間を予測する前記手段には、到着間時間の特定の範囲に各スレープに到着するデータ・バーストの数を学習する手段と、各スレープでのトラフィック分布の確率密度関数を推定する手段と、発生 20の確率が定義済みの閾値を超える、各スレープでの次のデータ・バーストの到着の期待される時間間隔を判定する手段とが含まれる。

【0022】データ・バーストの数を学習する前記手段は、到着間時間の特定の範囲に到着するデータ・バーストの数を受信し、前記受信したデータ・バーストの数を前記到着間範囲に対応する項目に保管する手段による。確率密度関数を推定する前記手段は、異なる到着間時間持続時間に関するデータ・パケットの分布を分析する機構による。

【0023】定義済みの閾値確率に関する期待される時間間隔を推定する前記手段は、

【数7】

$$P(t) = \sum_{i=0}^{T_{AS}} H(x) \leq P_{AS}$$

によって記述され、ここで、 $P(t)$ が、パケットの到着の確率であり、 T_{AS} が、到着間時間であり、 P_{AS} が、閾値確率であり、 $H(x)$ が、観察の総数によって正規化された、各到着間期間の観察された到着間時間の数を記述する関数である。

【0024】スレープは、条件

$$(T_{AS} - (T_{AS} / \text{deadline})) \times P_{RECEIVE} + (T_{AS} / \text{deadline}) \times P_{TRANSMIT} - T_{AS} \times P_{LOW POWER} > P_{OVERHEAD}$$

に基づいてアクティブ・モードから低電力モードに切り替えられ、ここで、 T_{AS} が、期待される到着間時間であり、 Deadline が、アクティブ・モードのスレープに関するサービスの期限であり、 $P_{RECEIVE}$ が、受信されたモードでの電力であり、 $P_{LOW POWER}$ が、低電力モードでの電力であり、 $P_{TRANSMIT}$ が、送信モードでの電力であり、 $P_{OVERHEAD}$ が、接続を低電力モードにし、

アクティブ・モードに戻すことの電力オーバーヘッドである。

【0025】低電力モードでのポーリング間隔を調整する前記機構は、遅延されたパケットの接続の許容度に基づき、

【数8】

$$P(t) = \sum_{i=0}^{T_P} H(x) \leq P_B$$

によって定義され、ここで、 $P(t)$ が、パケットの到着の確率であり、 T_P が、低電力モードのスレープのポーリング間隔であり、 P_B が、遅延されたパケットの接続の許容度を反映する確率であり、 $H(x)$ が、観察の総数によって正規化された、各到着間期間の観察されたデータ・バーストの数を定義する関数である。

【0026】スレープは、条件

$$(b-1) \times T_{LOW POWER} > d$$

に基づいて低電力モードからアクティブ・モードに切り替えられ、ここで、

b = 測定されたバースト長

$T_{LOW POWER}$ = 低電力モードである時間

d = 最後のパケットの推定された最大遅延である。

【0027】前記マスタ駆動時分割二重無線ネットワークが、前記低電力モードが「スニフ」モードに対応するBluetoothネットワークである。

【0028】本発明は、マスタ駆動時分割二重無線ネットワークで電力消費を管理する方法であって、スレープでの着信トラフィックに基づいて各スレープのポーリング間隔を調整することによって、end-to-endパケット遅延のサービス品質要件を維持すると同時に電力消費を最適化するステップを含む、方法も提供する。

【0029】ポーリング間隔を調整するステップに、各スレープ・デバイスのポーリング間隔を調整する適応確率ベース・ポーリング間隔（APPI）方法が含まれる。

【0030】ポーリング間隔を調整する前記ステップに、各スレープでの次のパケットの期待される到着時間を、そのスレープの前のパケットの到着間時間の分布に基づいて予測するステップが含まれる。期待される到着時間を予測するステップに、到着間時間の特定の範囲に各スレープに到着するデータ・バーストの数を学習するステップと、各スレープでのトラフィック分布の確率密度関数を推定するステップと、発生 40の確率が定義済みの閾値を超える、各スレープでの次のデータ・バーストの到着の期待される時間間隔を判定するステップとが含まれる。

【0031】データ・バーストの数を学習する前記ステップは、到着間時間の特定の範囲に到着するデータ・バースト数を前記到着間範囲に対応する項目に保管する記憶方法による。

【0032】確率密度関数を推定する前記ステップは、

異なる到着間時間持続時間に関するデータ・パケットの分布を分析することによって定義される。

【0033】定義済みの閾値確率に関する期待される時間間隔を判定するステップが、

【数9】

$$P(t) = \sum_{x=0}^{T_{AS}} H(x) \leq P_{AS}$$

により、ここで、 $P(t)$ が、パケットの到着の確率であり、 T_{AS} が、到着間時間であり、 P_{AS} が、閾値確率であり、 $H(x)$ が、観察の総数によって正規化された、各到着間期間の観察されたデータ・バーストの数を記述する関数である。

【0034】期待される時間間隔を判定する前記ステップが、

$$\begin{aligned} & (T_{AS} - (T_{AS} / \text{deadline})) \times P_{\text{RECEIVE}} + \\ & (T_{AS} / \text{deadline}) \times P_{\text{TRANSMIT}} - T_{AS} \times P_{\text{LOW POWER}} > P_{\text{OVERHEAD}} \end{aligned}$$

により、ここで、 T_{AS} が、期待される到着間時間であり、 Deadline が、アクティブ・モードのスレーブに関するサービスの期限であり、 P_{RECEIVE} が、受信されたモードでの電力であり、 $P_{\text{LOW POWER}}$ が、低電力モードでの電力であり、 P_{TRANSMIT} が、送信モードでの電力であり、 P_{OVERHEAD} が、接続を低電力モードにし、アクティブ・モードに戻すことの電力オーバーヘッドである。

【0035】低電力モードでの前記ポーリング間隔を調整するための間隔が、遅延されたパケットの接続の許容度に基づき、

【数10】

$$P(t) = \sum_{x=0}^{T_b} H(x) \leq P_b$$

によって定義され、ここで、 $P(t)$ が、パケットの到着の確率であり、 T_b が、低電力モードのスレーブのポーリング間隔であり、 P_b が、遅延されたパケットの接続の許容度を反映する確率であり、 $H(x)$ が、観察の総数によって正規化された、各到着間期間の観察された到着間時間の数を定義する関数である。

【0036】スレーブが、条件

$$(b-1) \times T_{\text{LOW POWER}} > d$$

に基づいて低電力モードからアクティブ・モードに切り替えられ、ここで、

b = 測定されたバースト長

$T_{\text{LOW POWER}}$ = 低電力モードである時間

d = 最後のパケットの推定された最大遅延である。

【0037】前記マスタ駆動時分割二重無線ネットワークは、前記低電力モードが「スニフ」モードに対応するBluetoothネットワークである。

【0038】本発明は、さらに、マスタ駆動時分割二重無線ネットワークで電力消費を管理するコンピュータ可読記憶媒体に保管されたコンピュータ可読プログラム・

コードを含むコンピュータ・プログラム製品であって、スレーブでの着信トラフィックに基づいて各スレーブのポーリング間隔を調整することによって、end-to-endパケット遅延のサービス品質要件を維持すると同時に電力消費を最適化するように構成されたコンピュータ可読プログラム・コード手段を含む、コンピュータ・プログラム製品を提供する。

【0039】前記構成されたコンピュータ可読プログラム・コード手段に、各スレーブ・デバイスのポーリング間隔を調整する適応確率ベース・ポーリング間隔 (API) 機構が含まれる。

【0040】ポーリング間隔を調整するように構成された前記コンピュータ可読プログラム・コード手段に、各スレーブでの次のパケットの期待される到着時間を、そのスレーブの前のパケットの到着間時間の分布に基づいて予測する機構が含まれる。

【0041】期待される到着時間を予測する前記機構に、到着間時間の特定の範囲に各スレーブに到着するデータ・バーストの数を学習するように構成されたコンピュータ可読プログラム・コード手段と、各スレーブでのトラフィック分布の確率密度関数を推定するように構成されたコンピュータ可読プログラム・コード手段と、発生の確率が定義済みの閾値を超える、各スレーブでの次のデータ・バーストの到着の期待される時間間隔を判定するように構成されたコンピュータ可読プログラム・コード手段とが含まれる。

【0042】データ・バーストの数を学習するように構成された前記コンピュータ可読プログラム・コード手段は、到着間時間の特定の範囲に到着するデータ・バースト数を前記到着間範囲に対応する項目に保管する記憶手段による。

【0043】確率密度関数を推定するコンピュータ可読プログラム・コード手段は、異なる到着間時間持続時間に関するデータ・パケットの分布を分析する手段による。

【0044】定義済みの閾値確率に関する期待される時間間隔を推定するように構成された前記コンピュータ可読プログラム・コード手段が、

【数11】

$$P(t) = \sum_{x=0}^{T_{AS}} H(x) \leq P_{AS}$$

によって定義され、ここで、 $P(t)$ が、パケットの到着の確率であり、 T_{AS} が、到着間時間であり、 P_{AS} が、閾値確率であり、 $H(x)$ が、観察の総数によって正規化された、各到着間期間の観察されたデータ・バーストの数を記述する関数である。

【0045】期待される時間間隔を判定するように構成された前記コンピュータ可読プログラム・コード手段が、

$$(T_{AS} - (T_{AS} / \text{deadline})) \times P_{\text{RECEIVE}} +$$

10

20

30

40

50

$$(T_{AS} / \text{deadline}) \times P_{\text{TRANSMIT}} - T_{AS} \times P_{\text{LOW POWER}} > P_{\text{OVERHEAD}}$$

によって定義され、ここで、 T_{AS} が、期待される到着間時間であり、 Deadline が、アクティブ・モードのスレープに関するサービスの期限であり、 P_{RECEIVE} が、受信されたモードでの電力であり、 $P_{\text{LOW POWER}}$ が、低電力モードでの電力であり、 P_{TRANSMIT} が、送信モードでの電力であり、 P_{OVERHEAD} が、接続を低電力モードにし、アクティブ・モードに戻すことの電力オーバーヘッドである。

【0046】低電力モードでのポーリング間隔を調整するための間隔が、遅延されたパケットの接続の許容度に基づき、

【数12】

$$P(t) = \sum_{i=1}^n T_i H(x) \leq P_0$$

によって定義され、ここで、 $P(t)$ が、パケットの到着の確率であり、 T_i が、低電力モードのスレープのポーリング間隔であり、 P_0 が、遅延されたパケットの接続の許容度を反映する確率であり、 $H(x)$ が、観察の総数によって正規化された、各到着間期間の観察されたデータ・バーストの数を定義する関数である。

【0047】スレープが、条件

$$(b-1) \times T_{\text{LOW POWER}} > d$$

に基づいて低電力モードからアクティブ・モードに切り替えられ、ここで、

b = 測定されたバースト長

$T_{\text{LOW POWER}}$ = 低電力モードである時間

d = 最後のパケットの推定された最大遅延である。

【0048】前記マスタ駆動時分割二重無線ネットワークが、前記低電力モードが「スニフ」モードに対応するBluetoothネットワークである。

【0049】

【発明の実施の形態】図1に、Bluetoothシステムのスニフ・モードの動作を示す。スニフ・モードでは、スレープが、事前に決定されたタイム・スロットでマスタ送信をlistenしなければならない、したがって、残りの時間の間は低電力モードにとどまる。マスタが最後の送信以降にスレープに送信するまでの時間間隔を、「ポーリング間隔」と称する。スレープは、各 T_{SNIFF} スロットの時間の後に、 $N_{\text{SNIFF-ATTEMPT}}$ 回だけマスタ送信をlistenする。したがって、スレープのトランシーバのデューティ・サイクルは、スニフ・モードで減らされ、電力節約につながる。スレープのスニフ・モードへの切替は、マスタ開始またはスレープ開始のいずれかを行うことができる。マスタ開始切替では、マスタが、スレープにスニフ・モードへの切替を強制するか、スレープにスニフ・モードに移ることを要求するかのいずれかを行う。スレープは、スニフ・モードへの切替に関するマスタの要求の受け入れまたは拒絶のいずれかを行うことができ

る。スレープ開始切替では、スレープが、そのスニフ・モードへの切替についてマスタに要求し、マスタがその要求を受け入れる場合に、スレープがスニフ・モードに切り替える。

【0050】Bluetoothピコネットでのスレープのスケジューリングの所望の特徴は次の通りである。

1. デバイスの電力消費を減らさなければならない。
2. end-to-end遅延がQoSパラメータを満足することを保証しなければならない。
3. アクティブからスニフへの切替の判断基準では、電力モードの間の不必要な切替を減らさなければならない。
4. スニフ・モードでのポーリング間隔は、問題1、2を解決するために、前のトラフィック到着パターンに基づいて計算されなければならない。

【0051】適応確率ベース・ポーリング間隔 (APPI) は、着信トラフィックに適応し、着信トラフィックに適応しないスニフ・モードを使用する固定ポーリング間隔 (FPI) よりよく動作する。この技法には、次の2つの版がある。

- 1) 固定分解能を有する適応確率ベース・ポーリング間隔 (APPI-FR)
- 2) 適応分解能を有する適応確率ベース・ポーリング間隔 (APPI-AR)

【0052】固定分解能を有する適応確率ベース・ポーリング間隔 (APPI-FR) 方法では、Bluetoothデバイスの「低電力」モードでのポーリング間隔 T_{sniff} を選択する。

【0053】APPI-FRは、下記の顕著な特徴を有する。

i) インアクティブの間に、スレープが、次のパケットの到着までの予測された時間にわたって低電力モードになり、したがって、電力消費が減る。

ii) スニフ・モードのスレープを含むすべてのスレープのサービス品質パラメータが満足される。

iii) end-to-endパケット遅延が、固定ポーリング間隔ポリシ (FPI) および平均分散ポリシ (MEAN) に関して減る。

iv) ポーリング間隔が、その接続の着信トラフィックに基づいて選択される。

v) 現在より少ないトラフィックを有する低電力モードの接続をより大きい間隔でポーリングすることによって、より多くのトラフィックを有するスレープのために余分な帯域幅が解放される。

vi) 電力的に高価なアクティブ・モードで最小の可能な時間だけ接続を保つために、APPI-FRは、学習関数 H を使用して、デバイスでの着信トラフィックの性質に適応する。学習関数は、接続のデータ・パケット間の到着間時間に基づく。学習関数の分解能は、APPIを適用することによって学習関数から導出できる2つの

連続するポーリング間隔の間の最小のギャップである。APPI-FRでは、解が、接続のパケット間の最大到着間値および最小到着間値によって固定される。

【0054】APPI-FRでは、着信トラフィックのよい近似のためにポーリング間隔を判定する際によい分解能が要求される場合に、学習関数Hの次数が高い。これは、ポーリング間隔を計算する間の計算オーバーヘッドにつながる。たとえば、確率の計算は、考慮される到着間範囲のそれぞれの追加の個々の確率を必要とする。したがって、間隔の数が多いほど、計算コストが増える。

【0055】適応分解能を有する適応確率ベース・ポーリング間隔（APPI-AR）によって、APPI-FRの短所が克服される。APPI-ARは、データ到着の確率が高い到着間範囲内のポーリング間隔のより微細な分解能を保つことによって、トラフィック到着分布を処理する。学習関数Hのポーリング間隔の分解能は、データ到着の期待される確率が低い到着間範囲では低い。したがって、APPI-ARの学習関数Hの次数は、類似する結果についてAPPI-FRのほぼ20%の値で一定に保たれる。

【0056】APPR-ARの長所は次の通りである。
i) 学習関数Hのより低い次数を有することを介して、このポリシーが、トラフィック到着分布に対して適応的であるので、正確なポーリングを実施する。

ii) あらゆる種類のトラフィックを、トラフィック到着分布に関する知識なしで処理することができる。

iii) 関数Hの次数も低く、したがって、ポーリング間隔の分解能を失わずに計算オーバーヘッドが回避される。

iv) 固定分解能を有する適応ポリシーの長所のすべてがまだ使用可能である。

【0057】APPIでの電力モードの切替の決定の判断基準

APPIは、フローごとの最小の情報を維持し、ハードウェアでの実施が簡単である。

【0058】APPIは、低電力（スニフ）モードの接続のポーリング時間を決定する、実施が簡単なアルゴリズムである。そのような場合に、APPIは、次のパケットまでの到着間時間が、これまでに観察された到着間時間と同一の分布から引き出されるという論理的かつ正当な仮定を行う。したがって、到着間時間を観察して、パケットの到着の期待される時間を導出することができる。

【0059】所与の接続についてトラフィックの分布Dを学習するために、データ・バーストの観察された到着間時間の別々の学習関数Hを、正方向（マスタからスレーブへ）データ・トラフィックと逆方向（スレーブからマスタへ）データ・トラフィックについて保持する。観察され、学習関数に記録されるデータ・バーストの到着

間時間は、各バーストの最初のパケットの到着間時間である。したがって、各バーストの残りのパケットは、通常は最初のパケットから無視できる時間間隔以内に到着するので、観察から除外される。時間間隔 $I \in 0, \dots, m-1$ のそれぞれについて、 $H(i)$ が、区間 $[i \times M/m, (i+1) \times M/m]$ に観察される到着間時間の数であり、ここで、パラメータ m は、 H の項目数であり、 M は、観察に関する最大到着間時間である。

【0060】学習関数：学習関数では、到着間時間の特定の範囲に対応する項目に、これらの到着間範囲に到着するデータ・バーストの数が保管される。図2に、X軸が到着間時間を表し、Y軸が、これらの到着間範囲内に到着したバーストの数に対応する、学習関数を示す。

【0061】低電力モードの条件：接続がアクティブ・モードであり、データ・バーストが終了する時に、目的は、時間 T_{AS} を計算することである。 T_{AS} は、接続を強制的に（個々のパケット遅延に対するQoS要件のゆえに）アクティブ・モードにする（低電力モードにされている場合に）ことができる、この時間（ T_{AS} ）内の十分な長さの次のデータ・バーストの到着の確率が閾値 P_{AS} 未満になるように選択されなければならない。この予測は、学習関数Hの助けを得て行われる。アクティブ・モードがそのサービスのために絶対に必要になるそのようなバーストが、確率 $P(t)$ の計算のために考慮される唯一のパケットである。 $P(t)$ の意味を下で説明する。

【0062】したがって、そのようなパケットの到着の確率 $P(t)$ が、時刻 T_{AS} まで加算された時に閾値 P_{AS} を超え（ P_{AS} は、許容されるQoSパラメータの許容度に依存する）、接続をスニフ・モードにし、アクティブ・モードに戻すことの電力オーバーヘッド V が、時間 T_{AS} に節約される電力未満である場合には、接続を低電力モードにする。

【0063】トラフィック分布Dの確率密度関数が、学習関数Hによって推定され、 T_{AS} が、Dから導出される到着間時間であり、送信するための電力が、スロットあたり $P_{TRANSMIT}$ であり、受信するための電力が、 $P_{RECEIVE}$ であり、スニフ状態の電力が、 P_{SHIFF} であると、上の条件を、次式として表すことができる。

(i)

【数13】

$$P(t) = \sum_{x=0}^{T_{AS}} H(x) \leq P_{AS}$$

$$(ii) (T_{AS} - (T_{AS}/\text{deadline})) \times P_{RECEIVE} + (T_{AS}/\text{deadline}) \times P_{TRANSMIT} - T_{AS} \times P_{LOW POWER} > P_{OVERHEAD}$$

【0064】したがって、第1の条件から計算された T_{AS} の接続について第2の条件が満たされる場合には、スレーブが低電力モードにされる。

【0065】低電力モードでのポーリング間隔の決定：

第2の目的は、次のバーストの到着の前の期待される時間間隔が、遅延パケットの接続の許容度を反映する確率 P_s より大きくなるような時間間隔を見つけることである。したがって、

【数14】

$$P(t) = \sum_{x=0}^{T_s} H(x) \leq P_B$$

この T_s は、低電力モードのスレープのポーリング間隔 $T_{\text{LOW POWER}}$ である。

【0066】図2に、データ・パケットの到着間時間の分布の例を示す。ポーリング間隔を決定するために、異なる到着間範囲内のパケットの数を、到着間範囲上で、先頭から始めて、合計がバーストの総数の P_s (< 1) 倍に等しくなるまで加算する。上の手順で最後に達した到着間範囲の平均を、ポーリング間隔として採用する。 P_s は、図2ではPROBとして示されている。APPIのよい性能のためのPROBの値は、FTP、HTTP

$$\text{推定される遅延} = (b-1) \times T_{\text{LOW POWER}} > d$$

上の判断基準が満たされない場合には、接続をアクティブ・モードに切り替える。

【0069】図3に、スレープでのデータ・バーストの到着時に実行されるアクティビティの流れ図を示す。特定のストリームのキューに新しいバーストが到着する時に(3.2)、システムが、データ・バーストの間の到着間時間を計算し(3.3)、学習関数に定数係数Kを加算する(H^k)(3.4)。学習関数の総項目の合計がLIMITを超える場合(3.5)に、学習関数を定数係数Fで割り(3.6)、そうでない場合には、処理が停止する(3.7)。

【0070】この処理は、ソフトウェアに関して、下で定義されるメソッドとして表される：下記は、このシステムのパラメータである。

【0071】環境パラメータ

D : データ・トラフィックの分布。

$T_{\text{LOW POWER}}$: スレープが低電力モードの時のポーリング間隔。

$P_{\text{LOW POWER}}$: スレープが低電力モードの時に必要なスロットあたりのエネルギー。

P_{TRANSMIT} : 送信のためにスレープが必要とするスロットあたりのエネルギー。

P_{RECEIVE} : 受信のためにスレープが必要とするスロットあたりのエネルギー。

DEADLINE : アクティブ状態でのスレープのサービスの期限

【0072】メソッド・パラメータ

M : 学習関数で観察される時間間隔の最大値。

H : マスタからスレープへの流れおよび逆の流れの両方について維持される学習関数。したがって、1接続あたり2つの学習関数がある。

V : スレープを低電力モードに変え、アクティブ・モ

* Pなどの異なるトラフィックについてシミュレーションを実行することによって判定される。PROBの値が高いほど、パケットのend-to-end遅延が多くなる。したがって、PROBの値は、厳密なQoS厳守を必要とする接続の場合には低くしなければならない。したがって、PROBの値は、パケット遅延を表すのでQoSの1パラメータとすることができる。

【0067】トラフィック分布Dの近似：着信トラフィックの分布は、データ・パケットの到着間時間の学習関数Hによって近似される。

【0068】低電力モードからアクティブ・モードへの切替の判断基準の決定：低電力モードでサービスされるパケットが、やはりQoSに依存する閾値より長い遅延を得ると推定される場合には、接続を即座にアクティブ・モードにする。これは、バースト長b、スニフ間隔 T_{SNIFF} を測定し、したがってキューの最後のパケットの最大遅延dを推定することによって簡単に行われる。

ードに戻すオーバーヘッド。

20 M : 学習関数内のある時点での項目数。

P_{AS} : パケットが遅延のQoSパラメータを満足しない確率。これは、スレープを低電力モードにすることの実現可能性を計算する際に閾値確率として使用される。

P_s : パケットが遅延のQoSパラメータを満足しない確率。これは、低電力モードのデバイスのポーリング間隔を計算する際に閾値確率として使用される。

LIMIT : トラフィック接続のすべてのHの値の限界。

【0073】メソッド変数：

T_{AS} : アクティブ状態のチャンネルを必要とする、2つのバーストの間の時間間隔。この値は、低電力モードにすることの実現可能性を判定するのに使用される。

T_s : スレープが低電力モードである時の2つのポーリング間隔の間の時間間隔。この値は、次のポーリング間隔に関して $T_{\text{LOW POWER}}$ と同一である。

【0074】APPI-FR方法でマスタのMACでのスケジューリングに関するアクションをトリガするイベントは次の通りである。

【0075】1) デバイスでのデータの到着

40 新しいバーストが、デバイスでのスケジューリングに関する特定のストリームのキューに到着する時に、必ず、最後のバーストと現在のバーストの間の到着間時間が、学習関数 H^k (「k」はスレープ・インデックスを示す) に記録される。したがって、2つのデータ・バーストの間の到着間時間が、「1」である場合に、 H^k (1) が、定数係数Kだけ増分される。したがって、

ステップは次のようになる(図3を参照されたい)。

a) データ・バーストの最初のパケットの間の到着間時間「i」を計算する。

b) 定数係数Kを H^k (1) に加算する。

c) $\sum_{j=0}^{j-1} H^s(j) > \text{LIMIT}$ の場合に (LIMIT は定数係数)、学習関数を定数係数 $F (> 1)$ で割り、古いデータの重みが時間と共に指数関数的に減るようにする。

【0076】図4に、アクティブ状態のスレーブでのアクティビティの流れ図を示す。スレーブは、内部キューのデータについて検査する(4. 2)。データがキューに存在する場合には、それを送信し(4. 3)、そうでない場合には、スレーブは、マスタとスレーブの両方の学習関数について低電力動作の条件を検査する(4. 4)。低電力動作の両方の条件が満たされる場合(4. 5)、スレーブを低電力モードに切り替え(4. 6)、そうでない場合には、スレーブはアクティブ・モードにとどまり(4. 7)、処理が停止する(4. 8)。

【0077】接続が、送信すべきデータを有する場合には、接続をサービスする。しかし、接続が、キュー内にデータを有しない場合に、「低電力モードの条件」がマスタとスレーブの両方の学習関数 H_s および H_r によって満足されるならば、接続を低電力モードにする。

【0078】したがって、ステップは次のようになる(図4を参照されたい)。

1. データがキューに入っている場合。送信する。
2. 送信するデータがない場合： H_s および H_r について「低電力モードの条件」を検査する。
3. H_s および H_r の両方が「低電力モードの条件」を満足する場合：低電力モードに移る。
4. そうでない場合：アクティブ・モードにとどまる。
5. 接続が低電力モードになる場合：低電力モードに移る間、マスタとスレーブの両方でのポーリング間隔を計算する。
6. ポーリング間隔は、2つの計算された間隔の最小値になる。

【0079】図5に、低電力状態でのスレーブのアクティビティの流れ図を示す。低電力状態のスレーブとの接続をスケジューリングする時に、マスタおよびスレーブは、低電力からアクティブへの切替の判断基準を検査する(5. 2)。それがどちらかのキューで満足される場*

$$\min [H(i) + H(i+1)] \text{ for all } i \in N$$

【0084】図6に、離散イベント・シミュレーションに使用されるマスタおよびスレーブでのキューに関するBluetoothピコネットのTDD MACを示す。APP Iによって達成される電力およびend-to-end遅延の最適化の例示に使用されるマスタとスレーブの間のトラフィックは、次の通りである。

1. ee.lbl.govからのTCPトラフィック・トレース
2. HTTPアプリケーション層を伴うTCPトランスポート層(トラフィック・シミュレーションから)
3. FTPアプリケーション層を伴うTCPトランスポート層(トラフィック・シミュレーションから)
4. CBRトラフィック

* 合に、アクティブ状態に切り替える(5. 3)。そうでない場合には、低電力モードにとどまり、スレーブをサービスし(5. 4)、最後に処理を停止する(5. 5)。

【0080】低電力状態のスレーブとの接続をスケジューリングする時には、マスタおよびスレーブが、低電力からアクティブへの切替の判断基準を検査する。

【0081】それが満足される場合には、接続をアクティブ状態に切り替える。したがって、ステップは次のようになる(図5を参照されたい)。

1. マスタとスレーブの両方のキューで「低電力からアクティブへの切替の条件」を検査する。
2. その条件がどちらかのキューで満足される場合には、アクティブ状態に切り替える。
3. そうでない場合には、低電力モードにとどまり、スレーブをサービスする。

【0082】マスタ側またはスレーブ側でのデータ・バーストの到着時に学習関数が更新される時に、必ず、すべてのポーリング間隔(たとえば「j」)でのデータ到着の期待される確率が、学習曲線の次数「N」の関数であるあらかじめ決められた閾値「Pr」を超えないことが検査される。

$$H(j) / (\sum_{i=0}^j H(i)) \geq Pr$$

【0083】等化の条件

そのような場合には、j番目の到着間範囲を2つの範囲に分ける。学習関数の次数を一定に保つために、期待される確率の最小の合計を有する2つの隣接する到着間範囲を、一緒に結合する。これによって、データ速度がより高い到着間範囲でより高い分解能が達成されると同時に、バケットの数が小さく、一定の数に保たれる。

1. Hに対する「等化の条件」を検査する。
2. 到着間範囲「j」についてHでそれが満足される場合に、その到着間範囲を2つに分ける。
3. 到着間範囲が2つに分けられる場合には、合計がヒストグラムHの最小値になる2つの隣接する到着間範囲を結合する。

5. 16Kbpsリンクからオーディオを再生するReal playerから収集したTCPダンプ。

【0085】下記のベース・ポリシが、APP I-ARとの比較に使用される。

1. 常時アクティブ・モード(AAM)：このポリシでは、すべてのスレーブが、すべての時にアクティブ・モードに保たれ、したがって、低電力モードが使用されない。
2. 固定ポーリング間隔(FPI)：このポリシでは、固定されたポーリング間隔POLINTを用いて、マスタのキューとスレーブのキューの両方にデータがない時に、必ず接続をスニフ・モードにする。

3. 平均分散ポリシ (MEAN) : このポリシでは、前のバーストの到着間時間の平均および分散に基づくポーリング間隔を用いて、マスタのキューとスレーブのキューの両方にデータがない時に、必ず接続をスニフ・モードにする。

4. オフライン最適ポリシ : このポリシでは、マスタが、実際のデータの到着に基づいてAPPIに記載された条件に従ってスケジューリングを行い、電力モードの間の切替を処理し、したがって、デバイスの電力消費とend-to-endパケット遅延を最適レベルに減らす。

【0086】他の詳細は次の通りである。

1. ピコネット内の最大のスレーブ数 : 7
2. スニフ状態のポーリング間隔 : 100スロットから500スロットの間で適応。
3. 各TDDスロットの長さ : 625 μ 秒。

【0087】

DEADLINE : 40スロット

POLLINT : 250スロット

P_{SNIFF} : 0.05ユニット

P_{RECEIVE} : 0.5ユニット

P_{TRANSMIT} : 1ユニット

$O : 2 \times P_{TRANSMIT} + 2 \times P_{RECEIVE} = 3$ ユニッ
ト

P_{AS} : 0.3

P_B : 0.3

【0088】シミュレーションでは、異なる最適化ポリシすなわち、下記をカバーする。

1. 常時アクティブ・モード (AAM)
2. 固定ポーリング間隔 (FPI)
3. 平均分散ポリシ (MEAN)
4. 適応分解能を有する適応確率ベース・ポーリング間隔 (APPI-AR)

【0089】すべてのポリシの結果を、オフライン・ポリシに関して正規化して示す。

【0090】APPI-ARでは、学習関数が、列の数が学習関数の次数を表し、各列の境界が到着間範囲を表すヒストグラムによって実施される。

【0091】シミュレーションでは、110000個のBluetoothスロットをカバーし、結果は、50000個の前方へのスロットをカバーし、したがって、トラフィックの性質に適応するために学習関数によって占められた時間を無視している。図7に、AAMポリシ、FPIポリシ、MEANポリシ、APPI-ARポリシ、およびオフライン最適ポリシについてシミュレートされたTCPトレースについて得られた電力およびend-to-end遅延のグラフを示す。FPIおよびMEANでは、かなりの量の電力が節約されるが、遅延が非常に大きい値に増加する。APPI-ARは、トラフィック分布に適応し、オフライン最適ポリシに非常に近い値まで電力を減らしながら、FPIおよびMEANと比較して遅延が減

っている。APPIでは、AAMで消費される電力の85%、FPIおよびMEANで消費される電力の20%が節約され、遅延は、FPIおよびMEANと比較して非常に少ない。

【0092】図8に、AAMポリシ、FPIポリシ、MEANポリシ、APPI-ARポリシ、およびオフライン最適ポリシについてTCP層上のシミュレートされたFTPアプリケーションについて得られた電力およびend-to-end遅延のグラフを示す。FPIおよびMEANでは、かなりの量の電力が節約されるが、遅延が非常に大きい値に増加する。APPI-ARは、トラフィック分布に適応し、非常に低い値まで電力を減らしながら、FPIと比較して遅延が減っている。APPIでは、AAMで消費される電力の79%、FPIで消費される電力の20%、MEANで消費される電力の15%が節約され、遅延は、FPIおよびMEANと比較して非常に減っている。

【0093】図9に、AAMポリシ、FPIポリシ、MEANポリシ、APPI-ARポリシ、およびオフライン最適ポリシについてTCPアプリケーション層上のシミュレートされたHTTPトラフィックについて得られた電力およびend-to-end遅延のグラフを示す。FPIでは、かなりの電力が節約されるが、遅延が非常に大きい値まで増えている。APPI-ARは、トラフィック分布に適応し、非常に低い値まで電力を減らす。FPIおよびMEANと比較して遅延が減っている。APPIでは、AAMで消費される電力の84%、FPIおよびMEANで消費される電力の40%が節約され、遅延は、FPIおよびMEANと比較して非常に減っている。

【0094】図10に、AAMポリシ、FPIポリシ、MEANポリシ、APPI-ARポリシ、およびオフライン最適ポリシについてCBRTrafficについて得られた電力およびend-to-end遅延のグラフを示す。FPIおよびMEANでは、CBRレートがFPIおよびMEANによって使用されるポーリング間隔と一致しない場合に、電力モードをあまりに頻繁に切り替えなければならないので、CBRTrafficの場合にはさほど電力が節約されない。遅延も、非常に大きい値まで増加する。APPI-ARは、トラフィック分布に適応し、CBRレートに適応し、それをポーリング間隔として採用するので、オフライン最適ポリシに等しい値まで電力を減らす。遅延も、FPIおよびMEANと比較して減っている。APPI-ARは、AAMで消費される電力の88%、FPIで消費される電力の70%、MEANで消費される電力の66%を節約し、遅延は、FPIおよびMEANと比較して非常に小さい。

【0095】図11に、AAMポリシ、FPIポリシ、MEANポリシ、APPI-ARポリシ、およびオフライン最適ポリシについて16k bps Realplayオーデ

ィオ・トラフィックのTCPダンプについて得られた電力およびend-to-end遅延のグラフを示す。FPIおよびMEANでは、かなりの電力が節約されるが、パケット遅延が非常に大きい値まで増えている。APPI-ARは、トラフィック分布に適応し、非常に低い値まで電力を減らしながら、FPIおよびMEANと比較して遅延が減っている。APPI-ARは、AAMで消費される電力の65%を節約し、遅延は、FPIおよびMEANと比較して非常に少ない。最大遅延は、realplayオーディオでの最大の考慮事項であるが、FPIおよびMEANについて非常に高く、APPI-ARについてはAAMに匹敵する。

【0096】図12に、トラフィックの変化する到着間時間に対するヒストグラム境界の適応を示す。より多くのデータ・パケットが到着する到着間時間の範囲が、より微細な分解能を有し、他の範囲はより粗な分解能を有する。上のグラフからわかるように、境界は、より多くのパケットが到着する区域で集束し、したがって、ポーリング間隔の計算がより正確になる。

【0097】図13に、トラフィックの変化する到着間時間に対するヒストグラム境界の適応を示す。より多くのデータ・パケットが到着する到着間時間の範囲が、より微細な分解能を有し、他の範囲はより粗な分解能を有する。上のグラフからわかるように、境界は、より多くのパケットが到着する区域で集束し、したがって、ポーリング間隔の計算がより正確になる。HTTPは、一貫性がないので、150スロットと350スロットのヒストグラム境界が、HTTPトラフィックの一貫性のなさ起因する連続する等化で変動していると思われる。

【0098】図14に、トラフィックの変化する到着間時間に対するヒストグラム境界の適応を示す。この場合、連続するバーストの到着間時間が一定なので、3つの連続する境界が、その到着間速度に集束するように見え、ポーリング間隔の正確な計算がもたらされる。これが、電力消費に関するAPPIとオフライン最適ポリシの一致(図11を参照されたい)をもたらす。

【0099】図15に、 $P_s = 0.3$ のヒストグラム列の変化する数に関するAPPI-ARの性能を示す。性能が、すべての事例で類似していることがわかる。したがって、5としてヒストグラムの列の数を有することによって、計算オーバーヘッドが少ない、よい結果が得られる。これは、APPI-ARが、パケットの数が少ない場合であってもトラフィックに同等に良好に適応することも示しており、これが、比較のために本明細書で検討した他のポリシに対するAPPI-ARの長所である。

【0100】図16に、固定された数のヒストグラム列(=5)に関する変化する P_s に関するAPPI-ARの性能のグラフを示す。これは、変化する P_s に関するAPPI-ARの性能を示している。図からわかるよう

に、 P_s の値は、よい電力節約および少ない遅延に関して0.1と0.3の間をとることができる。しかし、接続によって要求されるQoSパラメータに応じて、 P_s を固定することができる。

【0101】参考文献:

1. http://www.networks.digital.com/npb/html/products_guide/roamwi_r2.html, 1998年1月14日。
2. M. Stemm, P. Gauthier and D. Harada, "Reducing power consumption of network interfaces in hand-held devices", 3rd International Workshop on Mobile Multimedia Communications, 1996年9月25~27日。
3. J.-C. Chen, K. M. Sivalingam, P. Agrawal and S. Kishore, "A comparison of MAC protocols for wireless local networks based on battery power consumption", Proc. of IEEE INFOCOM, 米国カリフォルニア州サンフランシスコ, 1998年4月, 第150ないし157ページ。

【0102】まとめとして、本発明の構成に関して以下の事項を開示する。

【0103】(1) マスタ駆動時分割二重無線ネットワークで電力消費を管理するシステムであって、スレープでの着信トラフィックに基づいて低電力モードの各スレープのポーリング間隔を調整することによって、end-to-endパケット遅延のサービス品質要件を維持すると同時に電力消費を最適化する手段を含む、システム。

(2) 前記手段が、低電力モードの各スレープ・デバイスの前記ポーリング間隔を調整する適応確率ベース・ポーリング間隔(APPI)機構を含む、上記(1)に記載のシステム。

(3) 前記ポーリング間隔を調整する前記機構が、各スレープでの次のパケットの期待される到着時間を、そのスレープで前に受信されたパケットの到着間時間の分布に基づいて予測する手段を含む、上記(2)に記載のシステム。

(4) 前記期待される到着時間を予測する前記手段が、到着間時間の特定の範囲に各スレープに到着するデータ・バーストの数を学習する手段と、各スレープでのトラフィック分布の確率密度関数を推定する手段と、発生の確率が定義済みの閾値を超える、各スレープでの次のデータ・バーストの到着の期待される時間間隔を判定する手段とを含む、上記(3)に記載のシステム。

(5) 前記データ・バーストの数を学習する前記手段が、到着間時間の特定の範囲に到着するデータ・バーストを受信し、前記受信したデータ・バーストの数を前記到着間範囲に対応する項目に保管する手段による、上記(4)に記載のシステム。

(6) 前記確率密度関数を推定する前記手段が、異なる到着間時間持続時間に関するデータ・パケットの分布を分析する機構による、上記(4)に記載のシステム。

(7) 定義済みの閾値確率に関する前記期待される時間間隔を判定する前記手段が、

【数15】

$$P(t) = \sum_0^{T_{AS}} H(x) \leq P_{AS}$$

によって記述され、ここで、 $P(t)$ が、パケットの到着の確率であり、 T_{AS} が、到着間時間であり、 P_{AS} が、閾値確率であり、 $H(x)$ が、観察の総数によって正規化された、各到着間期間の観察された到着間時間の数を記述する関数である

上記(4)に記載のシステム。

(8) スレーブが、条件

$$(T_{AS} - (T_{AS} / \text{deadline})) \times P_{RECEIVE} + (T_{AS} / \text{deadline}) \times P_{TRANSMIT} - T_{AS} \times P_{LOW POWER} > P_{OVERHEAD}$$

に基づいてアクティブ・モードから低電力モードに切り替えられ、ここで、 T_{AS} が、期待される到着間時間であり、 Deadline が、アクティブ・モードのスレーブに関するサービスの期限であり、 $P_{RECEIVE}$ が、受信されたモードでの電力であり、 $P_{LOW POWER}$ が、低電力モードでの電力であり、 $P_{TRANSMIT}$ が、送信モードでの電力であり、 $P_{OVERHEAD}$ が、接続を低電力モードにし、アクティブ・モードに戻すことの電力オーバーヘッドである

上記(2)に記載のシステム。

(9) 低電力モードでの前記ボーリング間隔を調整する前記機構が、遅延されたパケットの接続の許容度に基づき、

【数16】

$$P(t) = \sum_0^{T_B} H(x) \leq P_B$$

によって定義され、ここで、 $P(t)$ が、パケットの到着の確率であり、 T_B が、低電力モードのスレーブのボーリング間隔であり、 P_B が、遅延されたパケットの接続の許容度を反映する確率であり、 $H(x)$ が、観察の総数によって正規化された、各到着間期間の観察された到着間時間の数を定義する関数である

上記(2)に記載のシステム。

(10) スレーブが、条件

$$(b - 1) \times T_{LOW POWER} > d$$

に基づいて低電力モードからアクティブ・モードに切り替えられ、ここで、

b = 測定されたバースト長

$T_{LOW POWER}$ = 低電力モードである時間

d = 最後のパケットの推定された最大遅延

である、上記(2)に記載のシステム。

(11) 前記マスタ駆動時分割二重無線ネットワークが、前記低電力モードが「スニフ」モードに対応するBluetoothネットワークである、上記(1)に記載のシステム。

(12) マスタ駆動時分割二重無線ネットワークで電力消費を管理する方法であって、スレーブでの着信トラフィックに基づいて各スレーブのボーリング間隔を調整することによって、end-to-endパケット遅延のサービス品質要件を維持すると同時に電力消費を最適化するステップを含む、方法。

(13) 前記ボーリング間隔を調整する前記ステップが、各スレーブ・デバイスの前記ボーリング間隔を調整する適応確率ベース・ボーリング間隔(A P P I)方法を含む、上記(12)に記載の方法。

(14) 前記ボーリング間隔を調整する前記ステップが、各スレーブでの次のパケットの期待される到着時間を、そのスレーブの前のパケットの到着間時間の分布に基づいて予測するステップを含む、上記(13)に記載の方法。

(15) 前記期待される到着時間を予測するステップが、到着間時間の特定の範囲に各スレーブに到着するデータ・バーストの数を学習するステップと、各スレーブでのトラフィック分布の確率密度関数を推定するステップと、発生の確率が定義済みの閾値を超える、各スレーブでの次のデータ・バーストの到着の期待される時間間隔を判定するステップとを含む、上記(14)に記載の方法。

(16) 前記データ・バーストの数を学習する前記ステップが、到着間時間の特定の範囲に到着するデータ・バースト数を前記到着間範囲に対応する項目に保管する記憶方法による、上記(15)に記載の方法。

(17) 前記確率密度関数を推定する前記ステップが、異なる到着間時間持続時間に関するデータ・パケットの分布を分析するステップによる、上記(15)に記載の方法。

(18) 定義済みの閾値確率に関する前記期待される時間間隔を判定する前記ステップが、

【数17】

$$P(t) = \sum_0^{T_{AS}} H(x) \leq P_{AS}$$

により定義され、ここで、 $P(t)$ が、パケットの到着の確率であり、 T_{AS} が、到着間時間であり、 P_{AS} が、閾値確率であり、 $H(x)$ が、観察の総数によって正規化された、各到着間期間の観察された到着間時間の数を記述する関数である

上記(15)に記載の方法。

(19) 前記期待される時間間隔を判定するステップが、

$$(T_{AS} - (T_{AS} / \text{deadline})) \times P_{RECEIVE} + (T_{AS} / \text{deadline}) \times P_{TRANSMIT} - T_{AS} \times P_{LOW POWER} > P_{OVERHEAD}$$

により、ここで、 T_{AS} が、期待される到着間時間であり、 Deadline が、アクティブ・モードのスレーブに関するサービスの期限であり、 $P_{RECEIVE}$ が、受信

されたモードでの電力であり、 $P_{LOW POWER}$ が、低電力モードでの電力であり、 $P_{TRANSMIT}$ が、送信モードでの電力であり、 $P_{OVERHEAD}$ が、接続を低電力モードにし、アクティブ・モードに戻すことの電力オーバーヘッドである

上記(14)に記載の方法。

(20) 低電力モードでの前記ポーリング間隔を調整するための間隔が、遅延されたパケットの接続の許容度に基づき、

【数18】

$$P(t) = \sum_{x=0}^{T_F} H(x) \leq P_R$$

によって定義され、ここで、 $P(t)$ が、パケットの到着の確率であり、 T_F が、低電力モードのスレープのポーリング間隔であり、 P_R が、遅延されたパケットの接続の許容度を反映する確率であり、 $H(x)$ が、観察の総数によって正規化された、各到着間期間の観察された到着間時間の数を定義する関数である

上記(13)に記載の方法。

(21) スレープが、条件

$$(b-1) \times T_{LOW POWER} > d$$

に基づいて低電力モードからアクティブ・モードに切り替えられ、ここで、

b = 測定されたバースト長

$T_{LOW POWER}$ = 低電力モードである時間

d = 最後のパケットの推定された最大遅延

である、上記(12)に記載の方法。

(22) 前記マスタ駆動時分割二重無線ネットワークが、前記低電力モードが「スニフ」モードに対応するBluetoothネットワークである、上記(11)に記載の方法。

(23) マスタ駆動時分割二重無線ネットワークで電力消費を管理するコンピュータ可読記憶媒体に保管されたコンピュータ可読プログラム・コードを含むコンピュータ・プログラム製品であって、スレープでの着信トラフィックに基づいて各スレープのポーリング間隔を調整することによって、end-to-endパケット遅延のサービス品質要件を維持すると同時に電力消費を最適化するように構成されたコンピュータ可読プログラム・コード手段を含む、コンピュータ・プログラム製品。

(24) 前記構成されたコンピュータ可読プログラム・コード手段が、各スレープ・デバイスの前記ポーリング間隔を調整する適応確率ベース・ポーリング間隔(API)機構を含む、上記(23)に記載のコンピュータ・プログラム製品。

(25) 前記ポーリング間隔を調整するように構成された前記コンピュータ可読プログラム・コード手段が、各スレープでの次のパケットの期待される到着時間を、そのスレープの前のパケットの到着間時間の分布に基づいて予測する機構を含む、上記(24)に記載のコンピ

ータ・プログラム製品。

(26) 前記期待される到着時間を予測する前記機構が、到着間時間の特定の範囲に各スレープに到着するデータ・バーストの数を学習するように構成されたコンピュータ可読プログラム・コード手段と、各スレープでのトラフィック分布の確率密度関数を推定するように構成されたコンピュータ可読プログラム・コード手段と、発生の確率が定義済みの閾値を超える、各スレープでの次のデータ・バーストの到着の期待される時間間隔を判定するように構成されたコンピュータ可読プログラム・コード手段とを含む、上記(25)に記載のコンピュータ・プログラム製品。

(27) 前記データ・バーストの数を学習するように構成された前記コンピュータ可読プログラム・コード手段が、到着間時間の特定の範囲に到着するデータ・バースト数を前記到着間範囲に対応する項目に保管する記憶手段による、上記(26)に記載のコンピュータ・プログラム製品。

(28) 前記確率密度関数を推定する前記コンピュータ可読プログラム・コード手段が、異なる到着間時間持続時間に関するデータ・パケットの分布を分析する手段による、上記(26)に記載のコンピュータ・プログラム製品。

(29) 定義済みの閾値確率に関する前記期待される時間間隔を推定するように構成された前記コンピュータ可読プログラム・コード手段が、

【数19】

$$P(t) = \sum_{x=0}^{T_{AS}} H(x) \leq P_{AS}$$

によって定義され、ここで、 $P(t)$ が、パケットの到着の確率であり、 T_{AS} が、到着間時間であり、 P_{AS} が、閾値確率であり、 $H(x)$ が、観察の総数によって正規化された、各到着間期間の観察された到着間時間の数を記述する関数である上記(24)に記載のコンピュータ・プログラム製品。

(30) 前記期待される時間間隔を判定するように構成された前記コンピュータ可読プログラム・コード手段が、

$$\begin{aligned} & (T_{AS} - (T_{AS} / \text{deadline})) \times P_{RECEIVE} + \\ & (T_{AS} / \text{deadline}) \times P_{TRANSMIT} - T_{AS} \times P_{LOW POWER} > P_{OVERHEAD} \end{aligned}$$

によって定義され、ここで、 T_{AS} が、期待される到着間時間であり、 Deadline が、アクティブ・モードのスレープに関するサービスの期限であり、 $P_{RECEIVE}$ が、受信されたモードでの電力であり、 $P_{LOW POWER}$ が、低電力モードでの電力であり、 $P_{TRANSMIT}$ が、送信モードでの電力であり、 $P_{OVERHEAD}$ が、接続を低電力モードにし、アクティブ・モードに戻すことの電力オーバーヘッドである

上記(25)に記載のコンピュータ・プログラム製品。

(31) 低電力モードでの前記ポーリング間隔を調整するための間隔が、遅延されたパケットの接続の許容度に基づき、

【数20】

$$P(t) = \sum_{x=0}^{T_p} H(x) \leq P_B$$

によって定義され、ここで、 $P(t)$ が、パケットの到着の確率であり、 T_p が、低電力モードのスレープのポーリング間隔であり、 P_B が、遅延されたパケットの接続の許容度を反映する確率であり、 $H(x)$ が、観察の総数によって正規化された、各到着間期間の観察された到着間時間の数を定義する関数である

上記(24)に記載のコンピュータ・プログラム製品。

(32) スレープが、条件

$$(b-1) \times T_{\text{LOW POWER}} > d$$

に基づいて低電力モードからアクティブ・モードに切り替えられ、ここで、

b = 測定されたバースト長

$T_{\text{LOW POWER}}$ = 低電力モードである時間

d = 最後のパケットの推定された最大遅延

である、上記(24)に記載のコンピュータ・プログラム製品。

(33) 前記マスタ駆動時分割二重無線ネットワークが、前記低電力モードが「スニフ」モードに対応するBluetoothネットワークを含む、上記(23)に記載のコンピュータ・プログラム製品。

【図面の簡単な説明】

【図1】Bluetoothシステムのスニフ・モードの動作を示す図である。

【図2】データ・バーストの到着間時間の分布の例を示す図である。

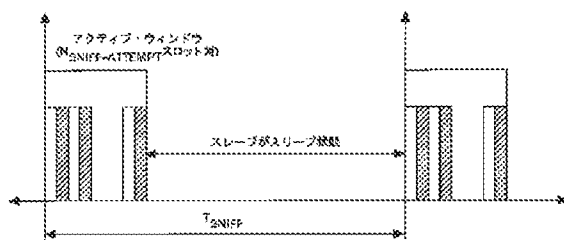
【図3】バースト・ノードでのデータの到着時に実行されるアクティビティの流れ図である。

【図4】アクティブ状態のスレープでのアクティビティの流れ図である。

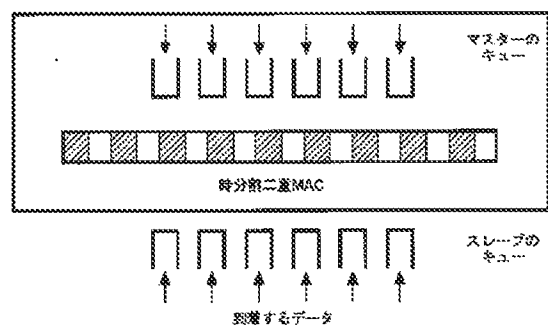
【図5】低電力状態でのスレープのアクティビティの流れ図である。

*

【図1】



【図6】



* 【図6】 マスタおよびスレープでのキューに関するBluetoothピコネットのTDD MACを示す図である。

【図7】 AAMポリシ、FPIポリシ、MEANポリシ、APPI-ARポリシ、およびオフライン最適ポリシについてシミュレートされたTCPトレースについて得られた電力およびend-to-end遅延のグラフである。

【図8】 AAMポリシ、FPIポリシ、MEANポリシ、APPI-ARポリシ、およびオフライン最適ポリシについてTCP上のシミュレートされたFTPアプリケーションについて得られた電力およびend-to-end遅延のグラフである。

【図9】 AAMポリシ、FPIポリシ、MEANポリシ、APPI-ARポリシ、およびオフライン最適ポリシについてTCPアプリケーション層上のシミュレートされたHTTPトラフィックについて得られた電力およびend-to-end遅延のグラフである。

【図10】 AAMポリシ、FPIポリシ、MEANポリシ、APPI-ARポリシ、およびオフライン最適ポリシについてCBRトラフィックについて得られた電力およびend-to-end遅延のグラフである。

【図11】 AAMポリシ、FPIポリシ、MEANポリシ、APPI-ARポリシ、およびオフライン最適ポリシについて得られた電力およびend-to-end遅延のグラフである。

【図12】 TCP上のFTPに関するトラフィックの変化する到着間時間に対するヒストグラム境界の適応を示す図である。

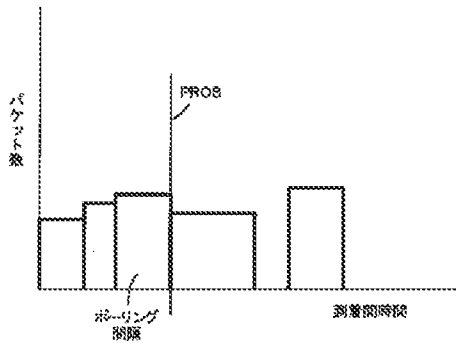
【図13】 TCP上のFTPに関するトラフィックの変化する到着間時間に対するヒストグラム境界の適応を示す図である。

【図14】 CBRに関するトラフィックの変化する到着間時間に対するヒストグラム境界の適応を示す図である。

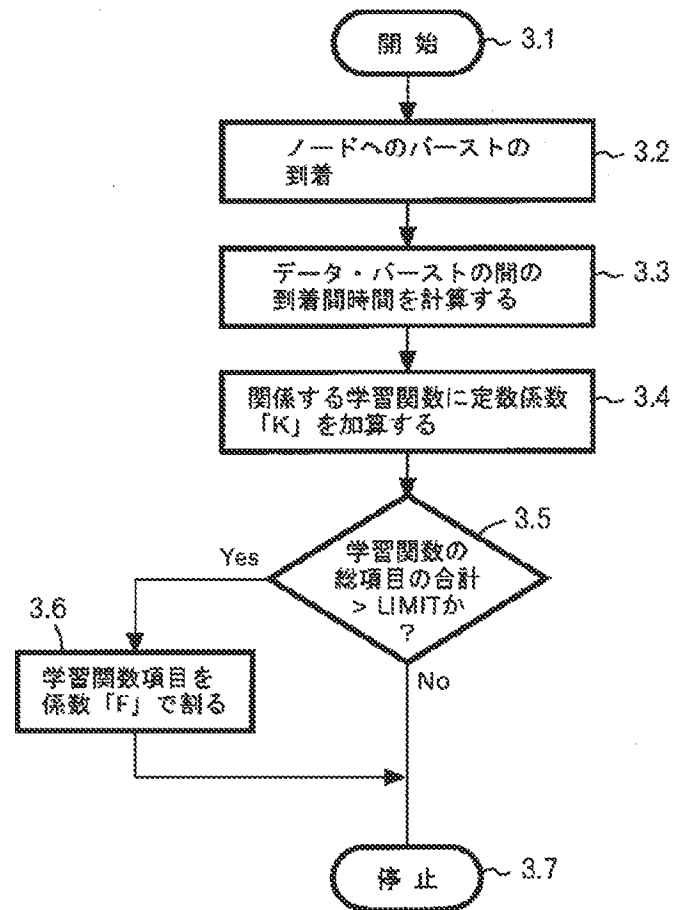
【図15】 ヒストグラムの異なる数の列に関するAPPI-ARの性能を示す図である。

【図16】 変化する閾値確率(P_B)に関するAPPI-ARの性能のグラフである。

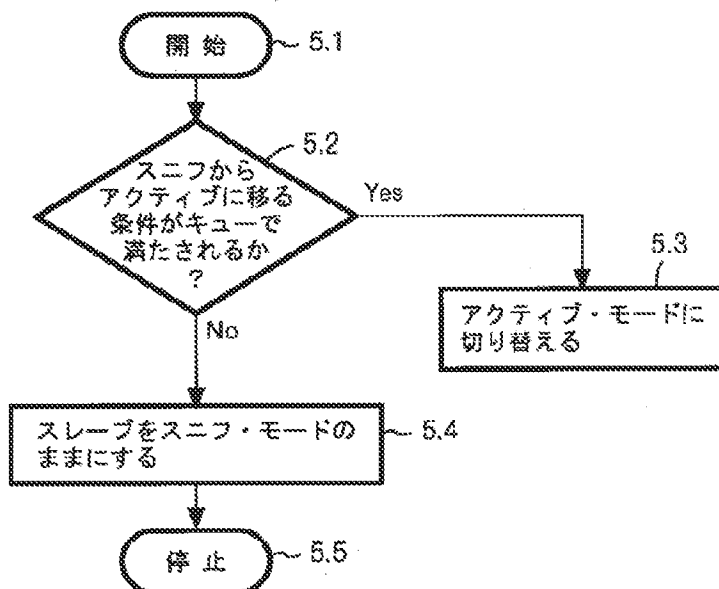
【図2】



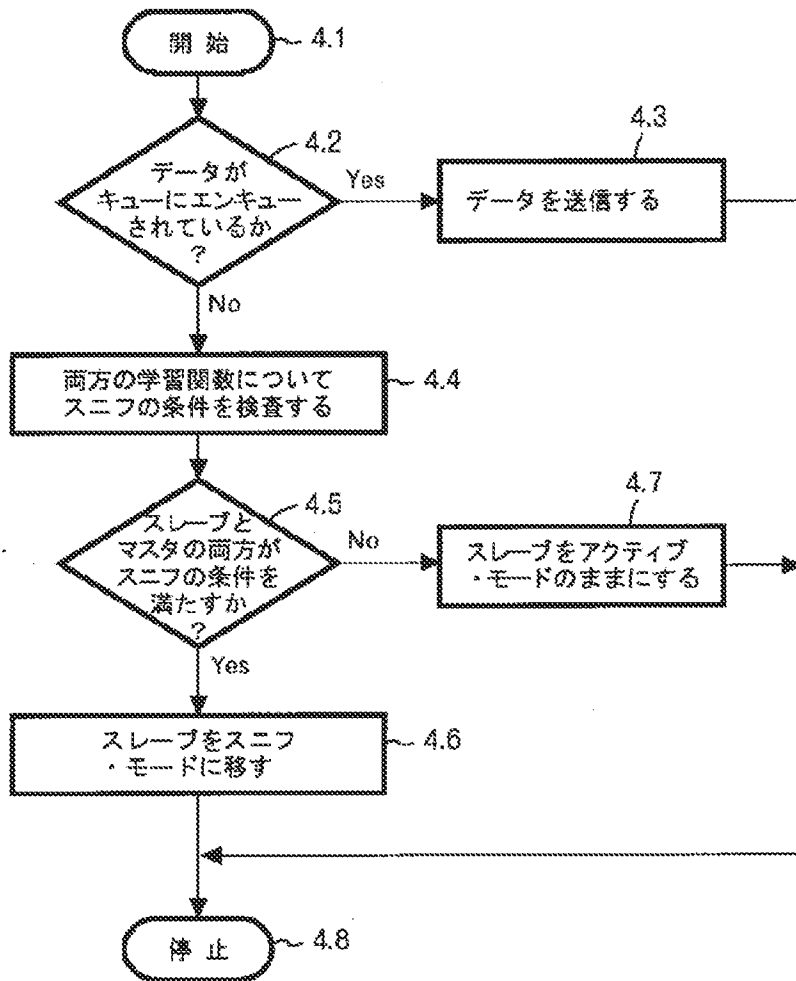
【図3】



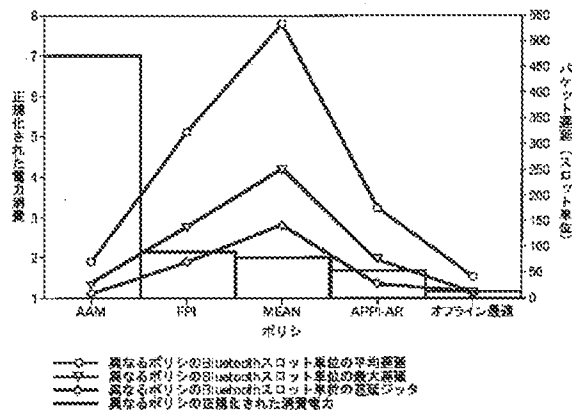
【図5】



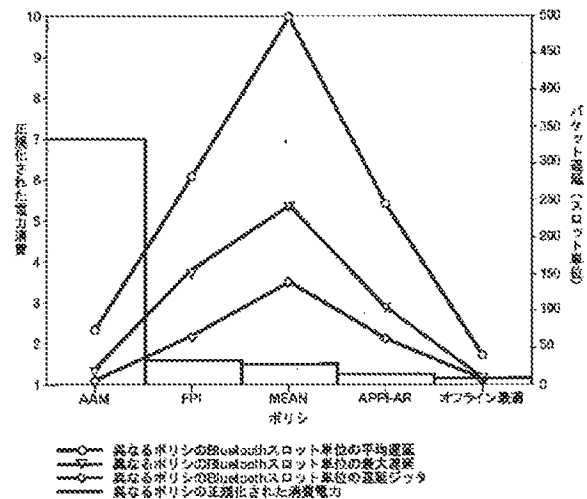
【図4】



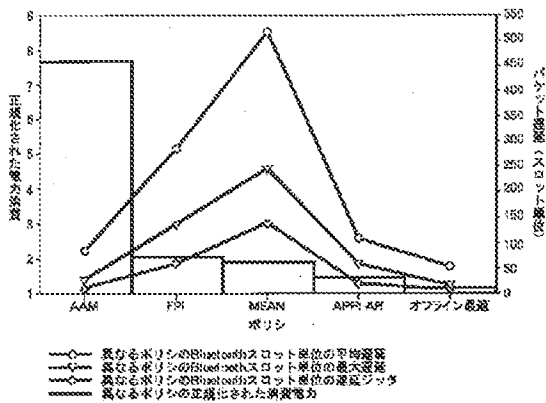
【図7】



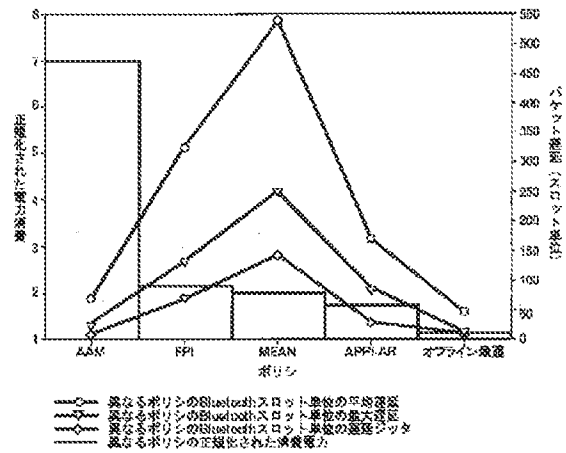
【図8】



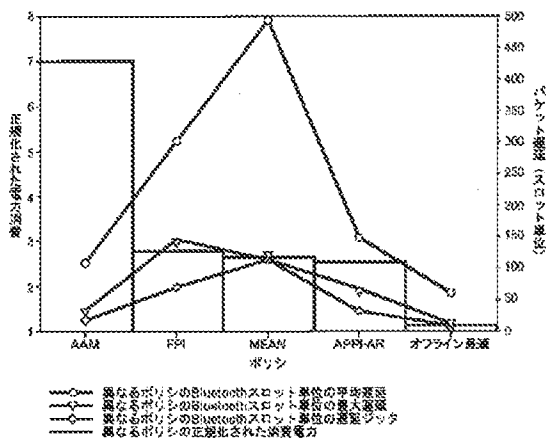
【図9】



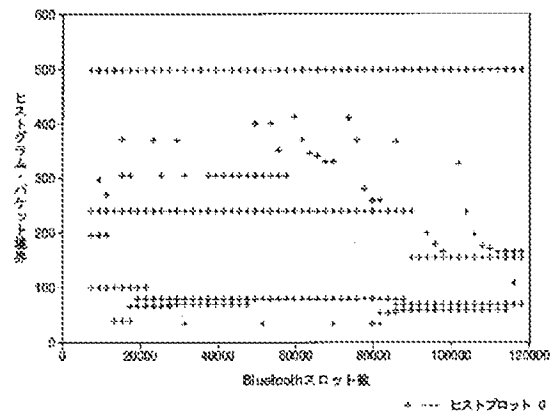
【図10】



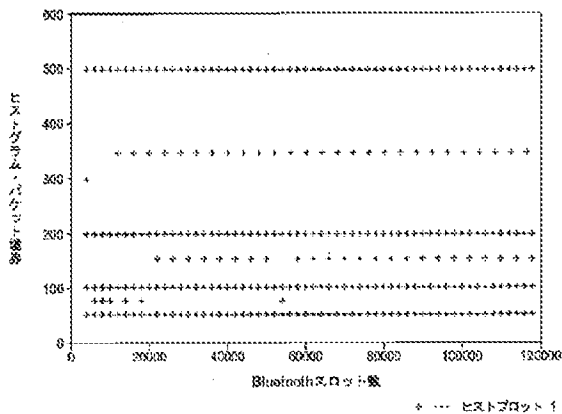
【図11】



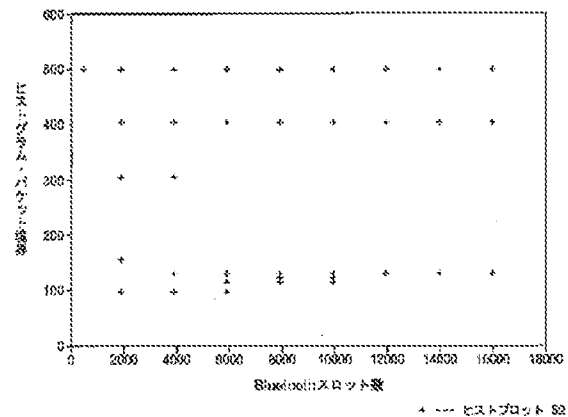
【図12】



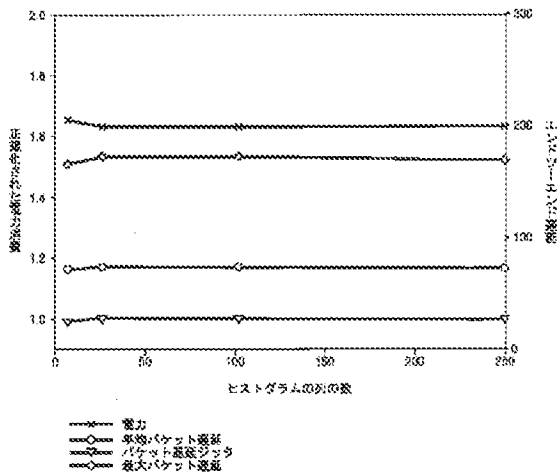
【図13】



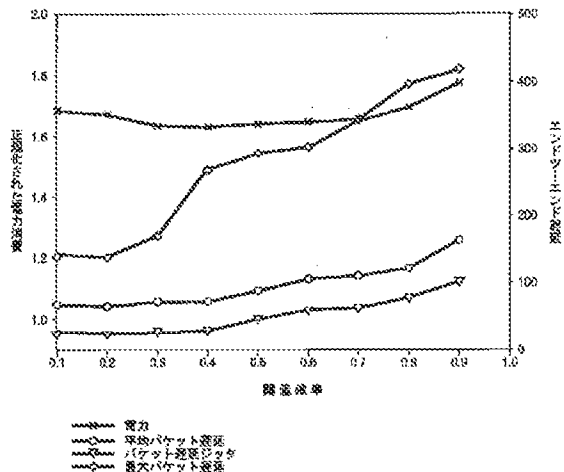
【図14】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 アプルヴァ・クマル
 インド110 029 ニューデリー サープダ
 ルジュン・エンクレーブ ピー4-230
 (72)発明者 インドラニール・チャクラボルティ
 インド ユー・ピー2260016 ラックナウ
 インディラ・ナガールセクター10 ハウ
 ス・ナンバー 74-1
 (72)発明者 アビシェク・カシュヤブ
 インド110 022 ニューデリー アール・
 ケイ・プラム 9-862

(72)発明者 アヌバム・ラストギ
 インド110 003 ニューデリー ロディ
 ー・ロード オブサーバトリー・コンパウ
 ンド エム-28-ディー
 (72)発明者 フズル・サラン
 インド110 017 ニューデリー ソアミ・
 ナガール ピー-76
 Fターム(参考) 5K033 AA03 AA04 CA01 CA11 CC01
 DA01 DA17 DB20 DB25 EA07
 EB04
 5K067 AA43 BB21 CC04 CC08 CC21
 DD51 EE02